

УДК 536.24

Студ. Е.С. Данильчик

Науч. рук., к.т.н. А.Б. Сухоцкий

(кафедра энергосбережения, гидравлики и теплотехники, БГТУ)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ КОМПОНОВКА ТРУБНОГО ПУЧКА АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ 2АВГ-75

Одним из направлений повышения энергоэффективности и экономичности теплообменных аппаратов с оребренными трубными пучками является применение свободной конвекции.

Естественно-конвективные процессы распространены в таких областях промышленности, как воздушное охлаждение мощных полупроводниковых преобразователей энергии, в радиаторах охлаждения масла силовых электрических трансформаторов, солнечной энергетике, в системах вентиляции и воздушного отопления зданий, при охлаждении теплонапряженных электронных приборов, в системах аварийного охлаждения ядерных реакторов и др. Все это делает актуальным обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований пучков из оребренных труб в условиях свободной конвекции [1,2].

Практическая реализация процессов естественной конвекции сдерживается недостаточной их изученностью. Для анализа процессов теплоотдачи и обоснованного выбора поверхности теплообмена требуется надежная оценка коэффициентов теплоотдачи оребренных поверхностей.

Известно, что шахматные пучки труб более эффективны с точки зрения переноса теплоты, а теплообменники в которых они используются имеют меньшую площадь. Также известным является факт, что при коридорной компоновке трубного пучка имеются меньшие гидравлические сопротивления. Это является стимулом для изучения данной компоновки трубного пучка. На сегодняшний день исследования по коридорным пучкам, как горизонтальным, так и установленным под углом к горизонтальной плоскости, практически отсутствуют [3].

В данной работе на примере аппарата воздушного охлаждения природного газа 2АВГ-75 была проведена сравнительная энергетическая характеристика двух аппаратов с шахматной и коридорной горизонтальной компоновкой трубного пучка в режиме естественной конвекции. Использовались промышленные биметаллические ребристые трубы с накатными алюминиевыми ребрами и несущими трубами из углеродистой стали 20 (ГОСТ 550-75), изготовленные по технологии ЛЕННИИХИММАШа. Диаметр несущей трубы $d_n = 25$ мм, толщина стенки $\delta_{ст} = 2$ мм, геометрические параметры оребрения:

$d \times d_0 \times h \times s \times \Delta = 55,85 \times 25,85 \times 15 \times 2,56 \times 0,75$ мм; коэффициент оребрения трубы $\varphi = 19,9$; общее количество труб $n=648$ шт. с длиной одной трубы $L=12$ м. Данный аппарат охлаждает природный газ от температуры $t_1' = 75^\circ\text{C}$ до температуры $t_1'' = 45^\circ\text{C}$, обеспечивая тепловую нагрузку $Q = 3629$ кВт с расходом охлаждаемого природного газа $G_1 = 45$ кг/с. Температура охлаждающего воздуха на входе аппарат при использовании вынужденной конвекции $t_2' = 30^\circ\text{C}$.

Согласно методике расчета, в режиме естественной конвекции для шахматной компоновки трубного пучка (с числом поперечных рядов $z=6$ шт.), при определении конвективного коэффициента теплоотдачи от оребрения к наружному воздуху α_k , Вт/(м²·К), число Нуссельта определялось по формуле по данным [4]

$$\text{Nu} = 0,97 \cdot 0,00356 \cdot \text{Ra}^{0,44} \left(1 - \exp(-5,8 \cdot 10^5 / \text{Ra}) \right), \quad (1)$$

где 0,97 – коэффициент учитывающий влияние конфузора;

Ra – число Релея для воздуха.

Для коридорной компоновки трубного пучка (с числом поперечных рядов $z=8$ шт. для того обеспечения одинаковой тепловой нагрузки аппарата) число Нуссельта рассчитывалось по данным [5]

$$\text{Nu} = 0,97 \cdot 0,00305 \cdot \text{Ra}^{0,468}. \quad (2)$$

Были получены следующие результаты, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета

Параметр	Шахм. ком-ка ($z=6$ шт.)	Кор. ком-ка ($z=8$ шт.)
1	2	3
Тепловая нагрузка аппарата Q , кВт	$Q=3629$	
Расход охлаждающего воздуха V_2 , м ³ /с	114,6	133,7
Установленная площадь поверхности теплообмена F_y , м ²	12560	
Расчетная площадь поверхности теплообмена F_p , м ²	9586	10720
Коэффициент запаса площади k_z	1,30	1,17
Температура охлаждающего воздуха на входе в аппарат t_0 , °C	15	13
Расчетная мощность на валу вентилятора N_B , кВт	33,2	35,5
КПД вентилятора η	0,58	0,56

Продолжение таблицы 1

Коэффициент теплоотдачи от природного газа (охлаждаемого теплоносителя) к несущей трубе α_1 , Вт/(м ² ·К)	1132 Вт	
Коэффициент теплоотдачи от оребренной поверхности к наружному воздуху (горячая часть) $\alpha_2 = \alpha_k + \alpha_d$, Вт/(м ² ·К)	0,568+0,079= =0,648	0,699+0,059= =0,758
Коэффициент теплопередачи горячей части (холодной части) $k_{г.ч.}$ ($k_{х.ч.}$), Вт/(м ² ·К)	0,635(18,2)	0,740(15,6)
Расчетный тепловой поток горячей части $Q_{р.г.}$, кВт	235,5	282,8
Расчетный тепловой поток холодной части $Q_{р.х.}$, кВт	340,4	336,3
Примечание– горячая часть (режим свободной конвекции), холодная часть (режим вынужденной конвекции)		

Вывод: для обеспечения заданной тепловой нагрузки $Q = 3629$ кВт, исходя из таблицы 1, наиболее энергетически и экономически эффективным являет аппарат воздушного охлаждения 2АВГ-75 с шахматной компоновкой трубного пучка вследствие меньшей занимаемой площади и меньшей себестоимости аппарата.

Также следует отметить, что значение минимальной температуры охлаждающего воздуха t_0 , °С, при которой аппарат может работать в режиме естественной конвекции и расчетная мощность на валу вентилятора N_v , кВт, имеют примерно равные значения для обеих компоновок трубного пучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свободноконвективные течения, тепло- и массообмен. В 2-х кн.: Пер. с англ./ Гебхарт Б., Джалурия Й., Махаджан Р., Саммакия Б.: Мир, 1991. 528 с.
2. Мартыненко О.Г., Свободно-конвективный теплообмен: Справочник / Мартыненко О.Г., Соковишин Ю.А. Мн.: Наука и техника, 1982. 400 с.
3. Позднякова А.В., Кунтыш В.Б. Теплоотдача переходных коридорно-шахматных пучков из оребренных труб при естественной конвекции воздуха // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2000. – № 9-10. – С.15-19.
4. Самородов А.В Совершенствование методики теплового расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения с шахматными оребренными пучками // Автореферат. – 1999. – С. 3-22.
5. Новожилова А.В., Марьина З.Г., Верещагин А.Ю., Кунтыш В.Б. Исследование свободно-конвективного теплообмена коридорных ребристых пучков при различных углах наклона труб // Тез. докл. и сообщений XIV Минского международного форума по тепло- и массообмену 10-13 сентября 2012 г./ ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск.–2012.–Т.1, часть 1. С.221-224.